



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08329630 A**

(43) Date of publication of application: 13 . 12 . 96

(51) Int. Cl.

G11B 21/08  
G05D 3/12  
G11B 21/10

(21) Application number: **07131596**

(22) Date of filing: 30 . 05 . 95

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

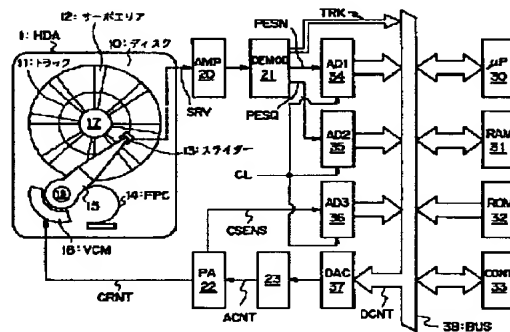
(72) Inventor: **TOYAMA SOICHI  
YAMAGUCHI TAKASHI  
YOSHIDA TAKASHI**

**(54) DISK RECORDER**

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To provide a disk recorder capable of being rapidly positioned on a target track and performing the recording of high recording density.

**CONSTITUTION:** The disk recorder is provided with head position detection means 20, 21 detecting a relative position of a head with respect to the center of the target track on a disk 10 and outputting a head position detection signal and a head position control system containing a microprocessor 30 performing the processing for realizing the positioning control of the head by digital control and making the head position detection signal a feedback signal. Thus, the following operation following the head position control system target track and the seek operation moving the head from a present track to another track are performed.



COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-329630

(43) 公開日 平成8年(1996)12月13日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 21/08		9058-5D	G 1 1 B 21/08	B
G 0 5 D 3/12	3 0 5		G 0 5 D 3/12	3 0 5 P
G 1 1 B 21/10		8425-5D	G 1 1 B 21/10	A

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平7-131596

(22) 出願日 平成7年(1995)5月30日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 遠山 聡一

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 山口 高司

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72) 発明者 吉田 隆

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

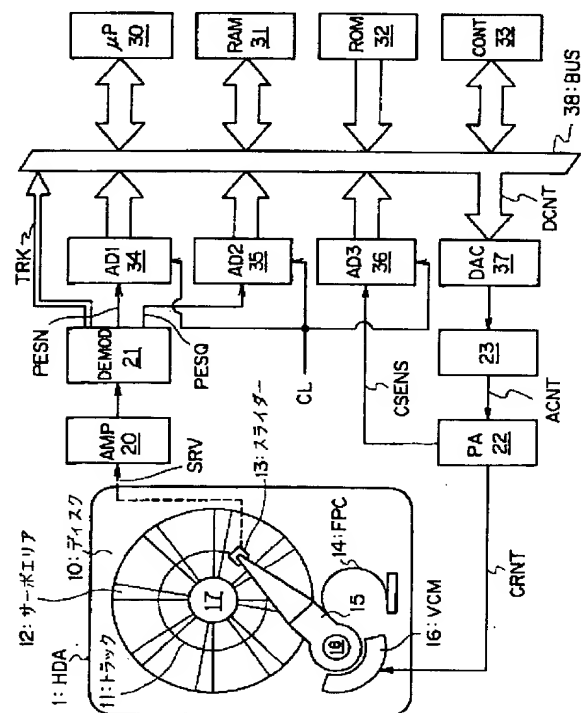
(74) 代理人 弁理士 鶴沼 辰之

## (54) 【発明の名称】 ディスク記録装置

## (57) 【要約】

【目的】 目標トラックへの速やかな位置決めが可能でかつ、高記録密度化が可能なディスク記録装置を提供すること。

【構成】 ディスク記録装置は、ディスク(10)上の目標トラックの中心に対するヘッドの相対的な位置を検出して、ヘッド位置検出信号を出力するヘッド位置検出手段(20、21)と、ヘッドの位置決め制御をディジタル制御で実現するための処理を行うマイクロ・プロセッサ(30)を含み、ヘッド位置検出信号をフィードバック信号とする、ヘッド位置制御系を備えており、このヘッド位置制御系目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作とを行なう。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ディスク上の目標トラックの中心に対するヘッドの相対的な位置を検出して、ヘッド位置検出信号を出力するヘッド位置検出手段を有するディスク記録装置において、

ヘッドの位置決め制御をディジタル制御で実現するための処理を行う演算処理手段を含み、前記ヘッド位置検出手段の出力するヘッド位置検出信号をフィードバック信号としてヘッドの位置決め制御を行なうヘッド位置制御系を有し、

該ヘッド位置制御系は、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作とを行なうことを特徴とするディスク記録装置。

【請求項2】 ディスク上の最寄りのトラックの中心に対するヘッドの位置ずれを検出する第1のヘッド位置検出手段と、前記の最寄りのトラックのアドレスを検出する第2のヘッド位置検出手段を備えているディスク記録装置において、

ヘッドの位置決め制御をディジタル制御で実現するための処理を行う演算処理手段を含み、前記第一のヘッド位置検出手段の出力と第二のヘッド位置検出手段の出力を加算して、ヘッド位置検出信号を生成し、該ヘッド位置検出信号をフィードバック信号としてヘッドの位置決め制御を行なうヘッド位置制御系を有し、

該ヘッド位置制御系は、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作とを行なうことを特徴とするディスク記録装置。

【請求項3】 トラック内に間欠的に位置信号を記録したディスクにデータを記録、再生するディスク記録装置であって、最寄りのトラックの中心に対するヘッドの位置ずれを前記の位置信号から検出する第一のヘッド位置検出手段と、前記の最寄りのトラックのアドレスを前記の位置信号から検出する第二のヘッド位置検出手段を有するディスク記録装置において、

ヘッドの位置決め制御をディジタル制御で実現するための処理を行う演算処理手段を含み、前記第一のヘッド位置検出手段の出力と第二のヘッド位置検出手段の出力を加算して、ヘッド位置検出信号を生成し、該ヘッド位置検出信号をフィードバック信号としてヘッドの位置制御を行なうヘッド位置制御系を有し、

該ヘッド位置制御系は、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作とを行なうことを特徴とする、ディスク記録装置。

\*【請求項4】 ディスク上の目標トラックの中心に対するヘッドの相対的な位置を検出して、ヘッド位置検出信号を出力するヘッド位置検出手段を有するディスク記録装置において、

ヘッドの位置決め制御をディジタル制御で実現するための処理を行う演算処理手段を含み、前記ヘッド位置検出手段の出力するヘッド位置検出信号をフィードバック信号としてヘッドの位置決め制御を行なうヘッド位置制御系を有し、

10 該ヘッド位置制御系は、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作とを行ない、かつヘッドを駆動するモーターが発生する駆動力が、装置を構成する機構要素の振動の発生を防止する特性を有するように制御することを特徴とする、ディスク記録装置。

【請求項5】 前記ヘッド位置制御系は、シーク動作時にヘッドの位置の目標軌道を生成する手段と、シーク動作時に目標軌道から前記ヘッド位置検出信号を減算して、軌道追従誤差信号を出力する第1の加算手段と、

シーク動作時に軌道追従誤差を抑圧するフィードフォワード信号を生成する手段と、

シーク動作時に前記フィードフォワード信号を閉ループ補償手段の出力信号に加算して、前記モーターを駆動する操作量信号を出力する第2の加算手段とを有することを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のディスク記録装置。

【請求項6】 シーク動作時に生成する、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が共に、そのパワースペクトルの中にヘッド支持機構の固有振動数の成分を含まないことを特徴とする請求項5に記載のディスク記録装置。

【請求項7】 シーク動作時に生成する、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が共に、そのパワースペクトルの中にディスク・スピンドル系の固有振動数の成分を含まないことを特徴とする請求項5に記載のディスク記録装置。

【請求項8】 シーク動作時に生成する、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が、それぞれシーク動作開始からの経過時間（以下、変数 $t$ ）の関数で表され、サンプル周期毎にその関数を計算して、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号とを生成することを特徴とする請求項5に記載のディスク記録装置。

【請求項9】 シーク動作時に生成する、前記フィードフォワード信号を表す関数が、次式

\*【数1】

$$u(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + c_1 \cos \omega_n t + c_2 \sin \omega_n t$$

..... (1)

であることを特徴とする請求項 5 に記載のディスク記録装置。

【請求項 1 0】 前記目標軌道と前記フィードフォワード信号を表す関数の係数値を、シーク動作のトラック間距離に応じて変えることを特徴とする請求項 8 または 9 のいずれかに記載のディスク記録装置。

【請求項 1 1】 前記ヘッド位置制御系は、前記フィードフォワード信号に対して、前記目標軌道を一定時間だけ遅らせるむだ時間補償手段を有することを特徴とする請求項 5 に記載のディスク記録装置。

【請求項 1 2】 前記ヘッド位置制御系は、前記フィードフォワード信号に対して、前記ヘッド位置制御系のデジタル制御演算、閉ループ内部の 0 次ホルダー要素やアナログフィルターに起因する位相遅れに等価なむだ時間だけ、前記目標軌道を遅らせる手段を有することを特徴とする請求項 5 に記載のディスク記録装置。

【請求項 1 3】 シーク動作を開始してから目標トラックに到達するまでの全時間で、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が、それぞれ一つの関数で表され、前記ヘッド位置制御系は、前記全時間にわたって前記ヘッド位置検出信号が前記目標軌道に追従するように制御することを特徴とする請求項 8 乃至 1 0 のいずれかに記載のディスク記録装置。

【請求項 1 4】 前記ヘッド位置制御系は、シーク動作のトラック間距離に応じてあらかじめヘッド速度を加速から減速に切り替えるべき時刻を設定し、該切り替え時刻を境として、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が、それぞれ異なる関数で表されており、シーク動作時に、前記ヘッド位置検出信号が、前記の加速用目標軌道から減速用目標軌道に移り変わって追従するように制御することを特徴とする請求項 5、8 乃至 1 0 のいずれかに記載のディスク記録装置。

【請求項 1 5】 前記ヘッド位置制御系は、前記シーク動作のトラック間距離に応じてあらかじめヘッド速度を加速から減速、減速からセトリングに切り替えるべき時刻（以下、切り替え時刻）を設定し、該切り替え時刻を境として、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が、それぞれ異なる関数で表されており、シーク動作時に、前記ヘッド位置検出信号が、前記の加速用目標軌道から減速用目標軌道、減速用目標軌道からセトリング用目標軌道に移り変わって追従するように制御することを特徴とする請求項 5、8 乃至 1 0 のいずれかに記載のディスク記録装置。

【請求項 1 6】 前記ヘッド位置制御系は、前記ヘッド位置検出信号と前記操作量信号を入力として、前記位置制御系に作用する外乱を推定する手段を備え、前記フィードフォワード信号と前記閉ループ補償要素の出力信号とを加算し、さらにその結果から前記外乱の推定値を減算した信号を前記操作量とすることを特徴とする請求項 5 に記載のディスク記録装置。

【請求項 1 7】 前記ヘッド位置制御系は、前記ヘッドを駆動する駆動モーターの駆動電流値をサンプル周期毎に A/D 変換して、駆動電流検出信号を発生する手段と、

前記ヘッド位置検出信号と前記駆動電流検出信号を入力として、前記位置制御系に作用する外乱を推定する手段とを有し、

前記フィードフォワード信号と前記閉ループ補償要素の出力信号とを加算し、さらにその結果から前記外乱の推定値を減算した信号を前記操作量とすることを特徴とする請求項 5 に記載のディスク記録装置。

【請求項 1 8】 ディスク上の目標トラックの中心に対するヘッドの相対的な位置を検出して、ヘッド位置検出信号を出力するヘッド位置検出手段を有するディスク記録装置において、

ヘッドの位置決め制御をデジタル制御で実現するための処理を行う演算処理手段を含み、ヘッドの速度を検出する手段を備えており、前記ヘッド位置検出信号と、ヘッド速度検出信号と、閉ループ補償器の状態変数のそれぞれにゲインを掛けて加算した値をフィードバック信号とする閉ループ制御系を有し、

該閉ループ制御系は、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作とを行なうことを特徴とするディスク記録装置。

【請求項 1 9】 ディスク上の目標トラックの中心に対するヘッドの相対的な位置を検出して、ヘッド位置検出信号を出力するヘッド位置検出手段を備えているディスク記録装置において、

ヘッドの位置決め制御をデジタル制御で実現するための処理を行う演算処理手段を含み、ヘッドの速度を検出する手段を備えており、前記ヘッド位置検出信号と、ヘッド速度検出信号と、閉ループ補償器の状態変数のそれぞれにゲインを掛けて加算した値をフィードバック信号とする閉ループ制御系を有し、

該閉ループ制御系は、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作とを行ない、かつシーク動作時にヘッドの位置と速度の目標軌道を生成する手段と、

前記目標位置軌道と目標速度軌道を重み付け加算して目標値信号を出力する手段と、

シーク動作時に前記目標値信号から前記フィードバック信号を減算する手段と、シーク動作時にフィードフォワード信号を生成する手段と、

シーク動作時に前記フィードフォワード信号を閉ループ補償手段の出力信号に加算して、前記モーターを駆動する操作量信号を出力する加算手段とを有することを特徴とするディスク記録装置。

【請求項 2 0】 前記ヘッド位置検出手段は、最寄りのトラックの中心からのヘッドの位置ずれを表す複数相の

ヘッド位置誤差信号を発生し、サンプル周期毎に、前記複数相のヘッド位置誤差信号を同時にサンプリングする一つ以上のAD変換器を有することを特徴とする請求項1、19乃至20のいずれかに記載のディスク記録装置。

【請求項21】 前記第一のヘッド位置検出手段は、最寄りのトラックの中心からのヘッドの位置ずれを表す複数相のヘッド位置誤差信号を発生し、サンプル周期毎に、前記複数相のヘッド位置誤差信号を同時にサンプリングする一つ以上のAD変換器を有することを特徴とする請求項2または3のいずれかに記載のディスク記録装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、磁気ディスク、光ディスクなどを記録媒体とするディスク記録装置と、そのヘッド位置決め制御方法に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】ここでは磁気ディスク装置を例に挙げて、本発明の背景を説明する。磁気ディスク装置は、高速に回転する磁気ディスクの表面に同心円状の記録トラックを有し、ディスク面に対向する磁気ヘッドによって情報を記録・再生する装置である。ヘッドを内蔵したスライダはバネによって支持され、動圧空気軸受の原理でディスク表面からわずかに浮上しており、高記録密度化のためには浮上量が小さいほど望ましい。

【0003】ヘッド位置決めサーボ系は、シーク・モードとフォロイング・モードの二つの制御モードを持っている。フォロイング・モードは記録・再生中に機械的振動、ディスクの回転偏心、電気信号ノイズなどの影響を抑圧して、ヘッドを目標トラックに精密に追従させる役割を持つ。シーク・モードはヘッドをあるトラックから別のトラックへ高速に移動する役割を持つ。このため、ヘッド速度を目標速度軌道に追従させる方式が多く用いられている。

【0004】従来はシーク制御方式として、最高速度以降の減速区間だけの目標速度を規定する方法、いわゆる減速カーブ・シーク方式が用いられてきた。この方法のシーク動作応答波形を図24に示す。同図に示すように、目標トラックまでの残シーク距離に応じて減速カーブを発生し、ヘッド速度をフィードバックして追従させる。この追従精度を上げるために、速度偏差量に加速度フィードフォワードを加算する方法が併用されている。これによる速度波形を図25に示す。

【0005】また、減速カーブと加速度フィードフォワードはリード・オンリー・メモリー（ROM）にテーブル形式で格納されており、残シーク距離のトラック数に対応して値が確定して読みだされる。これらのテーブルはシーク・ストロークによらず、共通のものがいつも用いられる。この方法により、比較的長いストロークのシ

ーク動作では擬似的最短時間制御を行う。その加減速パターンを図26に示す。しかし、シーク動作開始時や加速・減速切り替わり時の加速度変化が大きいために、ヘッド支持系やディスクなどの機構要素が振動して、シーク後残留振動による実質的シーク時間の増大、ヘッドやディスクの損傷を引き起こすことがあった。

【0006】この振動を抑制するために、デニー・ケイ・ミュー著：メカトロニクス エレクトロメカニクス アンド コントロメカニクス：スプリング・ヴァーラッグ社（1993年）（Denny K. Miu : Mechatronics Electromechanics and Contromechanics : Springer-Verlag (1993)）の第172ページから第175ページでは、弾性片持ち梁の揺動による先端の位置決め制御方法に関して、制御対象に加える操作量として、シーク動作開始からの経過時間の多項式関数と三角関数を加算した加減速パターンによりシーク制御を行う方法が開示されている。ただし、この文章には閉ループ系の構成に関する記載はない。

【0007】また、特開平3-233609では、制御対象を振動などが誘発されないように加速・減速制御して高速位置決め制御を行わせるために、制御対象の加速度の微分値の2乗積分値が最少となる加速・減速パターンに基づいて動作させる方式を開示している。さらに、特開平5-143165でも同様の目的のために、制御対象が指定位置に到達して停止する時点での、目標加速度の微分値が0になる加速・減速パターンに基づいて動作させる方式を開示している。この二つの発明は共に速度フィードバック制御で制御対象を高速移動することを提案している。

【0008】また、特公平1-46939では、直流モーターで磁気ヘッドを駆動する磁気ディスク装置において、前記ヘッドを安定、高精度に目標位置に移動することを目的として、加速区間は前記モーターを定電圧駆動し、減速区間は定電流駆動して、かつ、理想的な移動とヘッドの現在位置信号との偏差で駆動電流値を補正することにより、全区間を位置制御のみで目標位置に移動させる、ヘッドの位置決め制御方式を開示している。

【0009】また、特開平6-2034998と、日本機械学会第71期通常総会講演論文集（IV）（1994年）の第724ページから第726ページ「2自由度制御系を用いた磁気ディスク装置の高速位置決め制御」では、制御対象を完全な2重積分器  $1/s^2$  に線形化してサーボ補償器の設計を容易にし、かつ、逆起電力を積極的に利用した参照軌道が発生することで高速な位置決め動作を行う手段を開示している。

#### 【0010】

#### 【発明が解決しようとする課題】

「従来の技術」で説明した各公知技術の問題点を指摘して、本発明が解決しようとする課題を以下に説明する。

【0011】第一の公知技術として取り上げた、現在の多くの磁気ディスク装置に用いられているシーク制御方

法では、加速・減速の切り替わりでの加速度変化が大きいために機構要素を振動させることがあった。また、シーク・モードは速度制御であり、それに続くフォロイング・モードは位置制御であるため、目標トラックへの引き込み動作、いわゆるセトリング動作（シーク動作モードにおい整定するまでの直前の動作）において、制御モードの切り替え後にフォロイング補償器の状態変数の初期値応答による過渡応答が生じ、実質的なシーク時間が伸びることがあった。さらに、シークストロークによらず共通の減速カーブ・テーブルを用いるために、長いストロークでは擬似的な最短時間動作になるが、比較的小さいストロークではそのシーク動作の最高速度が低く制限されてしまい、最短時間動作から大きく離れてしまうことがあった。これを改善するために短いストロークに専用の減速カーブ・テーブルを備えると、それだけ大容量のROMを要することになり、回路規模が大きくなる、あるいは価格が上がるなどの弊害を生じる。

【0012】また、特開平6-203498や特公平1-46939が提案する制御方法は、一つの位置制御系でシークとフォロイング動作を行うために、前記の制御モードの切り替えによる過渡応答を防止することができる。しかし、位置制御でシーク動作を行うためには動作開始位置からの連続的なヘッド位置信号が必須であり、この点について技術が開示されていない。この信号を高精度に生成するには、信号のダイナミックレンジの点から考えて、マイクロ・プロセッサを用いたデジタル制御であることが必要である。さらに上記の提案では、加速・減速の切り替わりでの加速度変化が大きいために機構要素を振動させて、残留振動による実質的なシーク時間の増大やヘッド・ディスク間の接触による装置の損傷を起こすことが懸念される。

【0013】また、特開平3-233609と特開平5-143165が提案する制御方法は、滑らかな加減速パターンでシーク動作を行うことにより、磁気ディスク装置では数kHz以上の高周波の機構振動を抑制することができる。しかし、非常に励振され易い振動モードが存在する場合や数百Hz程度の比較的低い振動モードがある場合には、振動を十分に抑圧することはできない。また、シーク・モードは速度制御であるため、制御モードの切り替えによる過渡応答が不可避である。

【0014】本発明は、このような事情に鑑みてなされ\*

$$u(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + c_1 \cos \omega_n t + c_2 \sin \omega_n t$$

..... (2)

【0021】であることを特徴とする。ここで  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  はシーク動作のトラック間距離に依存する係数であり、 $\omega_n$  は機構部の角固有振動数である。

【0022】さらに、本発明は、前記目標軌道と前記フ

\*たものであり、高速なシーク動作と速やかなセトリング動作が可能であり、かつ、前記の動作中に機構要素の振動による装置の損傷を起こさず、しかも記録密度の高いディスク記録装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】具体的には、本発明は、ディスク上の目標トラックの中心に対するヘッドの相対的な位置を検出して、ヘッド位置検出信号を出力するヘッド位置検出要素を備えており、ヘッドの位置決め制御をデジタル制御で実現するための処理を行うマイクロ・プロセッサを備えているディスク記録装置であって、ヘッド位置検出信号をフィードバック信号とする、ヘッド位置制御系を備えており、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作の両方に前記のヘッド位置制御系を用いることを特徴とする。

【0016】また、本発明は、シーク動作時にヘッドの位置の目標軌道を生成する手段と、り、シーク動作時には、目標軌道から前記ヘッド位置検出信号を減算して、軌道追従誤差信号を出力する加算要素を備えており、シーク動作時には、軌道追従誤差を抑圧するフィードバック信号を生成する手段を備えており、シーク動作時には、前記フィードバック信号を閉ループ補償要素の出力信号に加算して、前記モーターを駆動する操作量信号を出力する加算要素を備えていることを特徴とする。

【0017】また本発明は、シーク動作時に生成する、前記目標軌道と前記フィードバック信号が共に、そのパワースペクトルの中にヘッド支持機構の固有振動数の成分、あるいはディスク・スピンドル系の固有振動数の成分を含まないことを特徴とする。

【0018】また本発明は、シーク動作時に生成する、前記目標軌道と前記フィードバック信号が、それぞれシーク動作開始からの経過時間（以下、変数  $t$ ）の関数で表され、サンプル周期毎にその関数を計算して、前記目標軌道と前記フィードバック信号とを生成することを特徴とする。

【0019】さらに、前記フィードバック信号を表す関数が、次式

【0020】

【数2】

フィードバック信号を表す関数の係数値を、シーク動作のトラック間距離に応じて変えることを特徴とする。

【0023】また、本発明は、前記のデジタル制御方法であって、前記フィードバック信号に対して、前記目標軌道を一定時間だけ遅らせるむだ時間補償手段を

10

20

30

40

50

有することを特徴とする。

【0024】さらに、本発明は、前記むだ時間補償手段は、前記位置制御系のデジタル制御演算、閉ループ内部の0次ホールダー要素やアナログフィルタに起因する位相遅れに等価なむだ時間だけ前記目標軌道を遅らせることを特徴とする。

【0025】また本発明は、シーク動作を開始してから目標トラックに到達するまでの全時間で、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が、それぞれ一つの関数で表され、前記全時間にわたって、前記ヘッド位置検出信号が前記目標軌道に追従する（以下、方式1）ことを特徴とする。

【0026】また本発明は、シーク動作のトラック間距離に応じてあらかじめヘッド速度を加速から減速に切り替えるべき時刻を設定し、該切り替え時刻を境として、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号が、それぞれ異なる関数で表され、シーク動作開始から前記切り替え時刻までの加速時間では、前記ヘッド駆動モーターの発生し得る最大推力で駆動するための関数であり、前記切り替え時刻以降の減速時間では、前記動作時間変数  $t$  の多項式関数であり、シーク動作を開始してから目標トラックに到達するまでの全時間にわたって、前記ヘッド位置検出信号が、前記の、加速用、あるいは減速用の目標軌道に追従する（以下、方式2）ことを特徴とする。

【0027】また本発明は、シーク動作のトラック間距離を、短い距離と長い距離とに区分する境界をあらかじめ設定し、前記境界より短いシーク動作では、方式1でヘッドを駆動し、前記境界より長いシーク動作では、方式2でヘッドを駆動することを特徴とする。

【0028】また本発明は、前記ヘッド位置検出信号と前記操作量信号を入力として、前記位置制御系に作用する外乱を推定する手段を備えており、前記フィードフォワード信号と前記閉ループ補償要素の出力信号とを加算し、さらにその結果から前記外乱の推定値を減算した信号を前記操作量とすることを特徴とする。

【0029】また本発明は、前記ヘッド駆動モーターの駆動電流値をサンプル周期毎にAD変換して、駆動電流検出信号を発生する手段を備えており、前記ヘッド位置検出信号と前記駆動電流検出信号を入力として、前記位置制御系に作用する外乱を推定する手段を備えており、前記フィードフォワード信号と前記閉ループ補償要素の出力信号とを加算し、さらにその結果から前記外乱の推定値を減算した信号を前記操作量とすることを特徴とする。

【0030】また本発明は、ディスク上の目標トラックの中心に対するヘッドの相対的な位置を検出して、ヘッド位置検出信号を出力するヘッド位置検出要素を備えており、ヘッドの位置決め制御をデジタル制御で実現するための処理を行うマイクロ・プロセッサを備えてい

るディスク記録装置であって、ヘッドの速度を検出する手段を備えており、前記ヘッド位置検出信号と、ヘッド速度検出信号と、閉ループ補償器の状態変数のそれぞれにゲインを掛けて加算した値をフィードバック信号とする閉ループ制御系を備えており、目標トラックに追従するフォロイング動作と、現在のトラックから別のトラックにヘッドを移動するシーク動作の両方に前記の閉ループ制御系を用いることを特徴とする。

【0031】また、上記のディスク記録装置であって、前記ヘッド位置検出要素は、最近接トラックの中心からのヘッドの位置ずれを表す複数相のヘッド位置誤差信号を発生し、サンプル周期毎に、前記複数相のヘッド位置誤差信号を同時にサンプルする二つ以上のAD変換器を備えることを特徴とする。

【0032】

【作用】本発明のディスク記録装置は、ヘッド位置検出要素とマイクロ・プロセッサを備えているので、デジタル制御によるヘッド位置決め制御を行う。さらに、デジタル制御により、シーク動作開始位置からの連続的なヘッド位置検出信号を生成する。しかもフォロイング動作とシーク動作を共通の閉ループ制御系で実現するので、制御モードの切り替えによる過渡応答の無い、速やかなセトリング動作が可能である。

【0033】また、本発明のディスク記録装置は、シーク動作時に、前記閉ループ制御系にヘッドの位置の目標軌道とフィードフォワード信号を入力するので、目標軌道に追従したシーク動作を可能にする。

【0034】また、シーク動作時に生成する、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号は共に、そのパワースペクトルの中にヘッド支持機構の固有振動数の成分を含まないので、ヘッドを振動させずにディスクに接近させることができ、高記録密度化とヘッドやディスクの損傷の防止を可能にする。

【0035】あるいはディスク・スピンドル系の残留振動の成分を含んでいないので、残留振動を低減でき、速やかなセトリング動作とトラックピッチの狭小化による高記録密度化を可能にする。

【0036】また、シーク動作時に生成する、前記目標軌道と前記フィードフォワード信号は、それぞれシーク動作開始からの経過時間（以下、変数  $t$ ）の関数で表され、しかも関数の係数値をシーク動作のトラック間距離に応じて変えるので、トラック間距離毎にシーク動作の高速化を図ることを可能にする。

【0037】また、シーク動作時に生成する、前記フィードフォワード信号に対して、前記目標軌道を一定時間だけ遅らせるむだ時間補償手段を備えており、しかも前記むだ時間は前記位置制御系のデジタル制御演算、閉ループ内部の0次ホールダー要素やアナログフィルタに起因する位相遅れに等価なむだ時間であるので、デジタル制御に固有の閉ループ内部の位相遅れを補償し

て、シーク動作中に前記ヘッド位置検出信号を前記目標軌道に高精度に追従させて、追従誤差のセトリング動作への影響を低減して速やかなセトリング動作を可能にする。

【0038】また、シーク動作時に、「課題を解決するための手段」に記載した方式1と方式2をシーク動作のトラック間距離に応じて切り替えるので、前記装置の平均シーク時間の短縮が可能である。

【0039】また、前記位置制御系に作用する外乱を推定する手段を備えており、前記フィードフォワード信号と前記閉ループ補償要素の出力の加算結果から、前記偏奇力（外乱）の推定値を減算した信号を操作量信号にするので、ヘッド位置決め機構に作用する駆動力以外の外乱力や制御対象のパラメータ変化による等価的な外乱を打ち消して、フォロイング動作中にはヘッドを目標トラックの中心に高精度に追従させることを可能にし、しかもシーク動作中には前記ヘッド位置検出信号を前記目標軌道に高精度に追従させて、追従誤差のセトリング動作への影響を低減して速やかなセトリング動作を可能にする。

【0040】また、前記ヘッド位置検出要素が複数相のヘッド位置誤差信号を発生する方式のディスク記録装置において、前記複数相のヘッド位置誤差信号を同時にサンプリングする、AD変換器を備えているので、ヘッド位置誤差信号の各相が表すヘッド位置ずれの値に時間的な前後差が無いので、前記複数相のヘッド位置誤差信号を選択的に切り替えて、真に連続的な前記ヘッド位置検出信号を生成できるため、前記目標軌道に対する追従誤差を低減して、速やかなセトリング動作を可能にする。

【0041】

【実施例】以下、本発明を実施例により説明する。

【0042】「第一の実施例」

「磁気ディスク装置のハードウェア構成」図1のブロック線図は、本発明を適用した磁気ディスク装置のハードウェア構成を示す。ヘッド・ディスク・アセンブリ

（HDA）1は装置の主要な機能要素であり、以下の要素から成る。ディスク10は記録媒体であり、1つ以上の各ディスク面には同心円状のトラック11を複数本有しており、近年の装置では半径方向のトラック密度は、1インチあたり5400本程度が主流である。このディスクはスピンドル軸17を中心として、スピンドルモーター（図示せず）により回転する。スライダ13は磁気ヘッド（図示せず）を搭載しており、各ディスク面に対向しており、ディスクの回転で生じるスライダ・ディスク間の空気流の動圧効果により、ヘッド・ディスク間の微小な距離を保っている。

【0043】フレキシブル・プリント配線（FPC）14は、可とう性の基板上に導体の配線を埋め込んだ物であり、ヘッドに入出力する電気信号を送る配線である。ヘッドアーム15は、スライダを支持する。ボイス・

コイル・モーター（VCM）16は、ヘッドを位置決める駆動モーターである。ピボット軸18は、VCMの発生する回転トルクによりヘッドアームを揺動する回転軸である。以上がHDAの構成である。

【0044】次にヘッド位置決め制御のための、各要素の役割を説明する。近年の磁気ディスク装置は、いわゆるデータ面サーボ方式であり、ディスク面上に放射状の複数のサーボエリア12を備えている。サーボエリアには、トラックのアドレスを示すコード、トラックの中心に対するヘッドの変位を測定するためのバースト信号などが記録されている。サーボエリアの磁気信号はヘッドの通過により、電気信号（SRV）に変換され、ヘッドアンプ（AMP）20により増幅される。その後、サーボ信号復調回路（DEM0D）21で、トラックアドレスのデジタル信号（TRK）と、2相のトラック内位置誤差信号（PESNとPESQ）に復調される。トラック内位置誤差信号PESNとPESQはそれぞれ、AD変換器（AD1とAD2）34、35でデジタル信号に変換される。

【0045】データ・バス（BUS）38は、位置決め制御回路のデジタル信号を伝送する配線である。マイクロ・プロセッサ（μP）30は、位置決め制御の演算と処理を行う。ランダム・アクセス・メモリー（RAM）31は、マイクロ・プロセッサ30が行う処理のデータの一次的な記憶を行う。リード・オンリー・メモリー（ROM）32は、マイクロ・プロセッサ30が行う処理の定数を格納する。

【0046】ディスク制御回路（CONT）33は、本装置とホスト・コンピューターを仲介し、本装置にシーク動作などの指令を出したり、本装置の動作状態の監視などを行う。マイクロ・プロセッサ30の処理の結果である、位置決め制御の操作量信号（DCNT）は、DA変換器（DAC）37を介して、アナログ信号に変換され、アナログ・フィルタ23で処理された後に、アナログ操作量信号（ACNT）としてVCM駆動アンプ（PA）22に入力される。

【0047】VCM駆動アンプ22はVCM16に駆動電流（CRNT）を供給する。また、VCM駆動アンプ22は駆動電流CRNTの電流値に比例した電圧信号（CSENS）を出力し、これはAD変換器（AD3）36でデジタル信号に変換され、データバス38を介してマイクロ・プロセッサ30に入力される。

【0048】AD変換器AD1、AD2、AD3はすべて同一のクロック信号（CL）で駆動されるので、信号PESN、PESQ、CSENSのサンプルは同時に行われる。

【0049】「ヘッド位置誤差信号」図2は、ヘッドの移動により発生するトラック内位置誤差信号PESNとPESQの波形を示す。図示するように、この2相の信号は90度の位相ずれを有しており、隣接するトラック



の中心上をヘッドが通過するたびに、信号値が交互に 0 になる。また、各トラックの中心で信号値が 0 となる相の信号は、そのトラックの中心から前後  $1/2$  トラック以内で、トラック中心からのヘッド変位量に線形な信号値になる。ヘッドの移動中に線形な相の信号を選択すると、図 3 に示すような鋸波状の波形になる。以下、これを線形位置誤差信号 (L I N P E S) と表す。

【0050】「位置制御系の構成」図 4 のブロック線図は、本発明に係るディスク記録装置のデジタル位置決め制御系のモデルを示す。このモデルでは制御対象であるアクセス機構、すなわちスライダを搭載したヘッドアームを慣性体とみなしている。すなわち、ヘッドアームの回転運動を直線運動に近似して、慣性質量を  $m$ 、ボイスコイルモータ 16 の推力定数を  $KF$  とし、駆動電流  $ACNT$  を入力、ヘッド変位を出力として、伝達関数は  $KF/m s^2$  になる。これは図中の 1 a、1 b、1 c である。

【0051】またボイスコイルモータ 16 のパラメータとしてコイルの電気抵抗値を  $RC$ 、コイル・インダクタンスを  $LC$ 、逆起電力定数を  $KB$  とし、 $VCM$  駆動アンプ 22 のパラメータとして電流帰還ゲインを  $KA$  とする。

【0052】 $VCM$  駆動アンプ 22 はアナログ操作信号  $ACNT$  に対して駆動電流  $CRNT$  を追従させるように、両者の差分の符号によって、正、または負の電圧を切り替えてボイスコイルモータ 16 のコイル両端に印加する。コイルの運動により速度に比例した逆起電力を生じ、前記の電圧から逆起電力分を引いた電圧により、コイルに駆動電流  $CRNT$  が流れる。これらは図中の 1 d、1 e、1 f、1 g、1 h、1 i である。

【0053】駆動電流  $CRNT$  がアナログ操作信号  $ACNT$  に追従している状態では、 $CRNT = KA \cdot ACNT$  になる。

【0054】制御量である、ヘッドの位置は次のように検出する。シーク動作時はトラックアドレスデジタル信号  $TRK$  が変化するので、目標トラック番号をトラックアドレスデジタル信号  $TRK$  から引けば、その時刻でのトラック単位の残シーク距離がわかる。

【0055】また、線形位置誤差信号  $L I N P E S$  は 1 トラック内の位置誤差を表すから、単位を統一して両者 \* 40

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(m_1 + m_2) k}{m_1 \cdot m_2}}$$

【0060】が、ヘッドアームの固有振動数に一致するように値を決める。多くの場合、ヘッドアームには複数の固有モードがあるので、ヘッドの位置で位置決め方向に最も大きく振動するモードの振動数に一致させる。こ

\* を加算すれば、連続的な残シーク距離の信号が得られる。これをヘッド位置検出信号とする。この信号は、ヘッドが目標トラックに到達したところで 0 になることは明らかである。これらはヘッド位置検出感度  $2a$  の値を  $KP$  とし、仮想的なサンプラ 3 a を用い、ヘッド位置を表す座標の原点を目標トラック中心に置くことでモデル化できる。この制御系は位置制御系であるから、ヘッド位置検出信号をフィードバック信号として負帰還し、シーク動作時にはヘッド位置の目標軌道  $x_r$  を入力する。フォロイング時には  $x_r = 0$  である。両者の偏差が軌道追従誤差であり、これを閉ループ補償要素 ( $C1(z)$ ) 3 b に入力する。 $C1(z)$  の出力にフィードフォワード信号  $\alpha_r$  を加算して、第一の操作量信号を得る。制御対象に駆動力以外の力やパラメータ変動などの外乱が作用しない場合は、第一の操作量信号を  $DAC37$  を介して出力することにより、前記の軌道追従誤差が理想的に 0 でシーク動作を行う。

【0056】しかし、前記の外乱の作用する場合は、追従誤差を抑圧する補償手段が必要である。この要素 ( $C2(z)$ ) 3 c はヘッド位置検出信号と  $VCM$  駆動電流の検出信号から外乱を推定するものであり、この推定値を前記の第一の操作量信号に加算することにより、外乱を相殺する。 $C2(z)$  に関して後に詳細に説明する。

【0057】「目標軌道とフィードフォワード信号の設計」制御対象であるヘッドアームの振動系物理モデルを構築し、その運動方程式を拘束条件として積分型評価関数を解き、シーク動作での最適な加減速パターンを動作時間の関数として導出する。以下、これについて詳細に説明する。

【0058】図 5 に前記の振動系物理モデルを示す。これは二つの質点 ( $m_1$ 、 $m_2$ ) とその間の線形バネで構成される。前述のようにヘッドアームの回転運動を直線運動に近似してモデル化するので、2 質点の質量の和、 $m_1 + m_2$  はヘッドアームのピボット軸回りの慣性等価質量 (以下、この値を  $m$  とする) に等しくする。典型的には  $m_1 = m_2 = m/2$  とする。前記の線形バネのバネ定数  $k$  は、前記の 2 質点と連結した系の固有振動数

【0059】

【数 3】

..... (3)

の振動系の運動方程式は次式である。

【0061】

【数 4】

$$\begin{matrix} 15 & & 16 \\ \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_F \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \end{matrix}$$

..... (4)

【0062】ここで、 $x_1$ 、 $x_2$ はそれぞれ質点 $m_1$ 、 $m_2$ の変位を表し、変数上の $\cdot$ は時間微分を表す。 $u(t)$ はアクチュエーターの駆動電流を表す。 $K_F$ はアクチュエーターの推力定数を表す。この式を一階連立微分\*10

\*方程式に直し、さらに、剛体モードと振動モードが独立になるように座標変換すると、次式を得る。

【0063】

【数5】

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \\ \dot{z}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j\omega_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -j\omega_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_F/m \\ K_F/m \\ K_F/m \end{bmatrix} u(t)$$

..... (5)

【0064】ここで、 $j$ は虚数単位である。 $\omega_n$ は前記のヘッドアームの固有角振動数、すなわち、 $\omega_n = 2\pi f_n$ である。 $z_1 \sim z_4$ はモード座標の状態変数であり、特に $z_1$ 、 $z_2$ はそれぞれ剛体モードの変位と速度※

20※を表す。また、この式を簡単のため、次式で表す。

【0065】

【数6】

$$\dot{z}(t) = Jz(t) + bu(t) \quad \text{..... (6)}$$

【0066】ここで、 $z(t)$ はモード座標状態ベクトルである。 $J$ は数4中の $4 \times 4$ 正方行列である。 $b$ は入力 $u(t)$ にかかる係数ベクトルである。さらに、上式を $z(t)$ の微分方程式として解くと、シーク動作終了★

★時刻 $t = T_e$ における状態量 $z(T_e)$ は次式になる。

【0067】

【数7】

$$z(T_e) = \exp(JT_e) z(0) + \int_0^{T_e} \exp\{J(T_e - \tau)\} bu(\tau) d\tau$$

..... (7)

【0068】ここで、 $\tau$ はシーク動作開始からの経過時間の積分変数、 $\exp(Jt)$ は行列指数関数による、状態遷移行列である。シーク開始時( $t=0$ )で全状態量が0、すなわち $z(0)=0$ として、上式を次のよう☆

☆に変形する。

【0069】

【数8】

$$z(0) = 0$$

$$= \exp(-JT_e) z(T_e) - \int_0^{T_e} \exp(-J\tau) bu(\tau) d\tau$$

..... (8)

【0070】制振加減速パターンとしての、アクチュエーターの駆動電流 $u(t)$ の一階微分の2乗の時間積分を最小化する意味で最適解を導く。その効果は、 $u(t)$ の高周波振動を低減し、かつ前記の固有モード $\omega$

$n$ を抑圧することである。この評価関数は、式(8)を拘束条件として、次式になる。

【0071】

【数9】

$$\begin{aligned}
 & 17 \\
 & J = \int_0^T e^{\lambda \tau} \dot{u}(\tau)^2 d\tau \\
 & + \lambda \left\{ \exp(-J T_e) z(T_e) - \int_0^T e^{\lambda \tau} \exp(-J \tau) b u(\tau) d\tau \right\} \\
 & \dots (9)
 \end{aligned}$$

【0072】ここで、 $\lambda$ は $1 \times 4$ のラグランジュの未定係数ベクトルである。上記評価関数の解を変分法で導くと、数1の形式の一般解を得る。状態量 $z(t)$ と駆動電流 $u(t)$ の初期・終端条件を満たすように係数を決めるために、式(2)を式(7)に代入して、各シーク距離での係数値 $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ を計算する。

【0073】「むだ時間補償手段の設計」フィードフォワード信号は、上記の制振加減速パターンの時間関数をサンプル周期毎に計算して発生する。

【0074】また、目標位置軌道は連続系ならばフィードフォワード信号の2階積分になるが、離散時間系で構成するために、閉ループ内部の0次ホールダー要素、演算時間、アナログ・フィルタによる位相遅れを補償する必要がある。以下、この補償手段の設計方法を説明する。0次ホールダーによる遅れは、むだ時間に換算して、サンプル周期の $1/2$  ( $T_s/2$ )である。演算時間による遅れは、サーボ処理プログラムにおいて、ヘッド位置検出すなわちトラック位置誤差信号PESNとPESQのサンプルから、操作量信号のDA変換までの処理に要する時間である。

10 \* 【0075】またアナログ・フィルタによる遅れは、位置制御系の開ループゲイン交差周波数における、アナログ・フィルタの位相遅れを測定し、位相遅れ量がこの測定値に等しいむだ時間要素に換算する。これらのむだ時間の総和を $\Delta$ とし、ラプラス演算子を $s$ としてむだ時間補償要素 $\exp(-\Delta s)$ で、目標位置軌道をフィードフォワード信号に対して相対的に遅らせることにより、前記の閉ループ内部の位相遅れに起因する目標軌道への追従誤差を抑圧して、目標トラックへのセtring応答を改善できる。前記のむだ時間補償要素は、 $\exp(-\Delta s)$ の1次パディ近似式により、デジタル補償器として実現できる。

20 【0076】「外乱推定手段の構成」次に、制御対象に作用する外乱を補償する手段(図4のC2(z)3c)について説明する。まず、連続時間系でこの手段の原理を説明する。操作量 $U(s)$ から制御量 $Y(s)$ までの伝達関数を $W_{yu}(s)$ 、外乱 $Q(s)$ から制御量 $Y(s)$ までの伝達関数を $W_{yq}(s)$ と表す。すると、 $Y(s)$ は $U(s)$ と $Q(s)$ に対する応答として、

【0077】

\* 【数10】

$$Y(s) = W_{yu}(s) \cdot U(s) + W_{yq}(s) \cdot Q(s) \dots (10)$$

と表される。これを $Q(s)$ について解くと、次式を得る。

※30 【数11】

$$Q(s) = \left[ \frac{1}{W_{yq}(s)} - \frac{W_{yu}(s)}{W_{yq}(s)} \right] \begin{bmatrix} Y(s) \\ U(s) \end{bmatrix} \dots (11)$$

【0079】ただし、 $W_{yu}(s)$ について、逆システムを考えるために不安定な零点を持たないと仮定する。この時、図6が示すように、次式を満たす $s$ の多項式 $G_{uq}(s)$ が存在するならば、外乱の影響を相殺でき★

$$(W_{yq}(s) + W_{yu}(s) \cdot G_{uq}(s)) Q(s) = 0 \dots (12)$$

外乱を相殺するために $U(s)$ に加算する信号は、 $G_{uq}(s) \cdot Q(s)$ であり、これは式(11)を用いて、

40 次式のように $Y(s)$ と $U(s)$ とで表せる。☆

$$\begin{aligned}
 G_{uq}(s) Q(s) &= G_{uq}(s) \left[ \frac{1}{W_{yq}(s)} - \frac{W_{yu}(s)}{W_{yq}(s)} \right] \begin{bmatrix} Y(s) \\ U(s) \end{bmatrix} \\
 &= \left[ -\frac{1}{W_{yu}(s)} \quad 1 \right] \begin{bmatrix} Y(s) \\ U(s) \end{bmatrix} \dots (13)
 \end{aligned}$$

【0082】また、式(13)で表す外乱補償系のブロック線図を図7に示す。しかし、 $K(s) = [-1/W_{yu}(s), 1]$ の要素、 $-1/W_{yu}(s)$ は分母次数より分子次数が大きくなる〔(相対次数 = (分母次数

一分子次数) > 0) のが一般的である]。よって、 $K(s)$  をそのまま実現することはできないが、適当な相対次数のローパス・フィルター  $F(s)$  を導入して、周波数帯域を制限して外乱を補償することができる。すなわち

$$K'(s) = F(s) \cdot K(s) = [-F(s) / W_{yu}(s), F(s)] \quad \dots\dots (14)$$

で、 $F(s) / W_{yu}(s)$  の相対次数が0以上になるように  $F(s)$  を選べば、 $K'(s)$  は外乱補償要素として実現可能である。以上のことを磁気ディスク装置に適用する。制御対象のヘッドアームを慣性体にモデル化して、 $W_{yu}(s) = K_F / m s^2$  とする。この相対次数は2であるから、2次ローパス・フィルターとして  $F(s)$

\*わち、

【0083】

【数14】

$\omega_c(s) = \omega_c^2 / (s + \omega_c)^2$  とする。ここで  $\omega_c$  はローパスフィルターの折点角周波数である。この時、式(14)から外乱補償手段は次式になる。

【0084】

【数15】

$$\hat{K}(s) = F(s) K(s) = \left[ -\frac{m}{K_F} \frac{\omega_c^2 s^2}{(s + \omega_c)^2}, \frac{\omega_c^2}{(s + \omega_c)^2} \right]$$

$$= \left[ -\frac{m \omega_c^2}{K_F} \left[ 1 - \frac{2 \omega_c s + \omega_c^2}{(s + \omega_c)^2} \right], \frac{\omega_c^2}{(s + \omega_c)^2} \right]$$

..... (15)

【0085】また、この系のブロック線図は図8になる。

【0086】次に離散時間系の外乱補償手段について説明する。数9から数14と図6から図8で表す構成はほぼそのまま、離散時間系にも適用できる。前記の伝達関★

$$W_{yu}(z) = Z \left[ \frac{1 - e^{-sT_s}}{s} W_{yu}(s) \right] = \frac{K_F}{m} \frac{T_s^2}{2} \frac{z + 1}{(z - 1)^2}$$

..... (16)

【0088】ところが、この伝達関数  $W_{yu}(z)$  は分子の零点が安定限界上に存在するため、数13の  $1/W_{yu}(s)$  に対応する、離散時間系の逆システムを安定に実現できない。そこで、演算子  $z$  と次式の関係を持つ、オイラー演算子  $\varepsilon$  を導入する。

【0089】

【数17】  $z = T_s \cdot \varepsilon + 1$

$z$  の安定領域は複素平面上の原点を中心とする単位円の☆40

$$W_{yu}(\varepsilon) = \frac{K_F}{m} \frac{1}{\varepsilon^2}$$

..... (18)

【0091】この伝達関数の逆システムは明らかに安定である。これに対して、数13と同様にして補償手段を構成するために、相対次数2のローパス・フィルター  $F(\varepsilon)$  を導く。 $F'(s) = \omega_c^2 / (s + \omega_c)^2$  を双

★数  $W_{yu} = K_F / m s^2$  を、DA変換器を介したデジタル制御のために、前置0次ホルダー付き  $z$  変換で離散化すると、サンプル周期を  $T_s$  として次式を得る。

【0087】

【数16】

☆内部であるから、式(17)の関係から、 $\varepsilon$  の安定領域は  $(-1/T_s, 0)$  を中心とする、半径  $1/T_s$  の円の内部に写像される。数16を数15に代入し、さらに  $T_s \rightarrow 0$  の極限で、分子の  $\varepsilon$  の一次項の係数  $T_s/2$  も0に収束することから、この項を無視して次の伝達関数を得る。

【0090】

【数18】

一次変換で離散化し、さらに式(17)により  $\varepsilon$  の伝達関数に変換して、次式を得る。

【0092】

【数19】

$$F'(\epsilon) = \frac{\frac{\omega_c^2 T_s^2}{(\omega_c T_s + 2)^2} \epsilon^2 + \frac{2\omega_c^2 T_s}{(\omega_c T_s + 2)^2} \epsilon + \frac{4\omega_c^2}{(\omega_c T_s + 2)^2}}{\epsilon^2 + \frac{4\omega_c}{\omega_c T_s + 2} \epsilon + \frac{4\omega_c^2}{(\omega_c T_s + 2)^2}} \quad \dots\dots (19)$$

【0093】この分子多項式について、 $T_s \rightarrow 0$ の極限 \* 【0094】  
で、一次項と二次項の係数は共に0に収束することか 10 【数20】  
ら、この項を無視して、次の伝達関数を得る。 \*

$$F(\epsilon) = \frac{A_0}{\epsilon^2 + A_1 \epsilon + A_0}$$

$$A_0 = \frac{4\omega_c^2}{(\omega_c T_s + 2)^2} \quad A_1 = \frac{4\omega_c}{\omega_c T_s + 2} \quad \dots\dots (20)$$

【0095】連続時間系の式(15)に対応する、オイ ※ 【0096】  
ラー演算子表現の補償手段は次式になる。 ※ 【数21】

$$\hat{K}(\epsilon) = F(\epsilon) K(\epsilon) = F(\epsilon) \begin{bmatrix} -\frac{1}{W_{yu}(\epsilon)} & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{m}{K_F} & \frac{A_0 \epsilon^2}{\epsilon^2 + A_1 \epsilon + A_0} & \frac{A_0}{\epsilon^2 + A_1 \epsilon + A_0} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{mA_0}{K_F} \left[ 1 - \frac{A_1 \epsilon + A_0}{\epsilon^2 + A_1 \epsilon + A_0} \right] & \frac{A_0}{\epsilon^2 + A_1 \epsilon + A_0} \end{bmatrix} \quad \dots\dots (21)$$

【0097】その状態方程式は次式になる。 ★ 【数22】  
【0098】 ★

$$\begin{cases} \delta x_1 = -A_1 x_1 + x_2 + A_1 \left[ -\frac{mA_0}{K_F} \right] y \\ \delta x_2 = -A_0 x_1 + A_0 \left[ -\frac{mA_0}{K_F} \right] y + (-A_0) u \end{cases}$$

..... (22)

【0099】ここで、 $\delta$ は $\epsilon$ に対応する時間領域の演算子である。演算子 $z$ に対応する時間領域の演算子(シフト演算子)を $q$ とすると、 $\delta$ と $q$ の関係は式(14)の $\epsilon$ と $z$ の関係に一致するので、次式を得る。

【0100】

【数23】  $\delta = (q-1)/T_s$

これを式(22)に代入して次式が得られ、マイクロ・プロセッサ- $\mu P$ のプログラムとして実現するための基礎方程式になる。

【0101】

【数24】

23

24

$$\begin{cases} q x_1 = (1 - A_1 T_s) x_1 + T_s x_2 + A_1 \left[ -\frac{mA_0 T_s}{K_F} \right] y \\ q x_2 = -A_0 T_s x_1 + x_2 + A_0 \left[ -\frac{mA_0 T_s}{K_F} \right] y + (-A_0 T_s) u \end{cases}$$

..... (24)

【0102】「制御アルゴリズム」図9から図16を用いて、本発明に係るディスク記録装置の制御方式のアルゴリズムを説明する。このアルゴリズムは、図1のマイクロ・プロセッサ(μP)30によって処理されるようにプログラム化され、サンプル周期毎に繰り返して実行される。図9は処理全体の流れを示す。同図においてステップF1で、ヘッド位置検出信号を生成する。

【0103】次にステップF2で、前記の目標位置軌道とフィードフォワード信号の現サンプル時刻の値を確定する。更にステップF3で、前述した閉ループ補償手段(図4の3b)と外乱推定手段(図4の3c)の現サンプル時刻での出力値を計算する。

【0104】次にステップF4で、デジタル制御処理による操作量信号(DCNT)の現サンプル時刻での値を計算し、DA変換器に入力する。更にステップF5で、次のサンプル時刻での目標位置軌道とフィードフォワード信号の値を計算する。

【0105】次いでステップF6で、閉ループ補償手段3bと外乱推定手段3cの状態変数値を計算する。更にステップF7で、シーク動作が終了したか、否かを判定する。図10は、ヘッド位置検出処理の詳細な手順を示す。同図においてステップF11で、図2の2相の位置誤差信号(PESNとPESQ)を同時にAD変換する。次にステップF12で、図3の線形位置誤差信号LINPESを生成し、またトラックアドレスデジタル信号TRKを取り込み、線形位置誤差信号LINPESとトラックアドレスデジタル信号TRKとから連続したヘッド位置検出信号を生成する。続いて処理は目標軌道出力計算処理(図11)に移行する。

【0106】図11のステップF21で、シーク動作中か、否かを判定する。判定が「YES」ならば、ステップF22で、シーク動作開始直後か、否かを判定する。この判定が「YES」ならば、ステップF23でフィードフォワード信号値を0に確定する。

【0107】またステップF24で目標位置軌道の値を0に確定する。さらに、前述の目標軌道を遅らせるむだ時間補償手段の状態変数に初期値を設定する。

【0108】一方ステップF22の判定が「NO」ならば、ステップF23からステップF25の処理は行わない。

【0109】ステップF26で、現サンプル時刻での目標位置軌道とヘッド位置検出信号との差を計算して、位

置偏差信号とする。ステップF21の判定が「NO」、すなわちフォロイング動作中ならば、ステップF22からステップF26の処理は行わず、ヘッド位置検出信号を符号反転して位置偏差信号とする。次に処理は閉ループ出力計算処理(図12)に移行する。

【0110】図12のステップF31では、閉ループ補償手段の出力値を計算する。閉ループ補償手段は離散時間の状態方程式で表され、その出力方程式をここで計算する。さらに、外乱推定手段の出力値をここで計算する。次に処理は操作量計算処理(図13)に移行する。

【0111】図13は操作量信号DCNTの計算の詳細を示す。ステップF41で閉ループ補償手段の出力値にフィードフォワード信号を加算する。次いでステップF42で、その加算結果を、DA変換器37のダイナミックレンジに合わせてリミッター処理する。更にステップF43で、その値をDA変換器37でアナログ信号に変換し、次サンプルの目標軌道計算処理(図14)に移行する。

【0112】図14は、フィードフォワード信号と目標位置軌道の計算の詳細を示す。ステップF51は、むだ時間補償手段に目標位置軌道を入力して、遅らせる処理をする。ステップF52では、次のサンプル時刻での式(2)の値を計算する。ステップF53では、式(2)をtについて2階積分した関数から、次のサンプル時刻でのむだ時間補償前の目標位置軌道の値を計算し、閉ループ補償器内部計算処理(図15)に移行する。

【0113】図15のステップF61では、閉ループ補償手段の状態変数値を計算する。さらに、外乱推定手段の状態変数値を式(24)により計算する。次に処理はシーク終了判定処理(図16)に移行する。

【0114】図16は、シーク動作の終了判定手順の詳細を示す。ステップF71で、線形位置誤差信号LINPESから、ヘッドが目標トラックの中心に対して所定の位置誤差以内にあるか、否かを判定する。判定が「YES」ならば、ステップF72でタイマー変数に1を加算する。次にステップF73で、タイマー変数が所定の値に等しい(「YES」)と判定したら、所定の時間を継続して目標トラックに追従したと判断して、ステップF74でシーク終了フラグをセットして、ディスク制御回路33にシーク動作終了を知らせる。

【0115】他方ステップF73の判定が「NO」ならば、ステップF74の処理は行わない。

【0116】またステップF71の判定が「NO」ならば、ステップF75でタイマー変数値を0にリセットする。

【0117】「応答波形」本発明を適用した磁気ディスク装置の応答波形を図17から図19に示す。図17はフレキシブル・プリント配線14による外乱力（下段）と、外乱推定手段による外乱推定値（上段）の時間波形である。ただし、単位はVCM駆動電流に合わせて、ミリ・アンペア（mA）とした。シーク動作中の時刻0～14.5msの間で、ヘッドの移動に伴って外乱は変化10するが、推定値はほぼ全時間にわたって真値を推定している。この推定精度により、外乱を相殺して高精度に目標位置軌道に追従できる。

【0118】また図18はヘッド位置誤差信号の一つの相（PESN）（上段）と、VCM駆動電流（下段）の時間波形である。シーク動作終了時（時刻14.5ms）に過渡応答なく、目標トラックの中心に速やかに位置決めしている。

【0119】図19は目標位置軌道に対する、ヘッド位置検出信号の追従誤差の時間波形である。最大でもトラック・ピッチの16/1000であり、高精度な軌道追従性が得られる。

【0120】「第二の実施例」図20のブロック線図に、本発明の第二の実施例のデジタル位置決め制御系の構成を示す。以下、第一の実施例との構成の違いを説明する。第一の実施例では、閉ループ系のフィードバック信号はヘッド位置検出信号だけであったが、第二の実施例では、ヘッド位置検出信号 $x(kTs)$ の他に、ヘッド速度検出信号 $v(kTs)$ と閉ループ補償手段の状態変数 $x_c(kTs)$ もフィードバック信号とする。すなわち、閉ループ補償手段3bと制御対象1jを直列に接続した系（以下、拡大系）の状態フィードバックの構成をとる。この閉ループ系を設計するには以下の手順を行う。まず、理想とする閉ループ特性の伝達関数（以下、規範モデル）を定める。

【0121】次に、前記の拡大系の伝達関数の分子多項式の根が、規範モデルの分子多項式の根に一致するように、閉ループ補償手段を決める。さらにこの拡大系に対して、状態フィードバックの閉ループ伝達関数の極が規範モデルの極に一致するように、フィードバックゲイン $f_c$ ,  $f_v$ ,  $f_x$ を求める。

【0122】この系への入力は、次のようにする。式（2）のフィードフォワード信号を $\alpha_r$ として閉ループ補償手段の出力に加算し、また、式（2）の1階積分である目標速度軌道 $v_r$ と、2階積分である目標位置軌道 $x_r$ とをゲインの比を $f_v : f_x$ で重み付け加算した信号を閉ループ系の目標値とする。

【0123】このように構成した系でも、第一の実施例と同様に外乱や制御対象のパラメーター変化の影響を抑圧して、図18に示すような速やかな目標トラックへの

位置決めが可能である。

【0124】「第三の実施例」図21から図23に、本発明の第三の実施例の制御波形を示す。以下、第一あるいは第二の実施例との違いを説明する。第一と第二の実施例では、式（2）で表す種類のフィードフォワード信号を用いてシーク動作を行うが、本実施例では加速用のフィードフォワード信号と減速用のフィードフォワード信号とを切り替える。加速フィードフォワード信号 $u_1$ は、ボイスコイルモーター16の性能での最大加速時の駆動電流を時間関数化して、加速中にサンプル周期毎に計算する。減速フィードフォワード信号 $u_2$ は式

（2）と同形式の関数で、シーク距離に応じた係数値をあらかじめ定めて、減速中にサンプル周期毎に計算する。閉ループ系に入力するフィードフォワード信号は、シーク動作時間の中で加速フィードフォワード信号 $u_1$ から減速フィードフォワード信号 $u_2$ に切り替える。図22は、この信号の時間波形である。図22の時間波形の1階積分を目標速度軌道、2階積分を目標位置軌道として、第一あるいは第二の実施例と同様に目標値とする。図23は目標位置軌道の時間波形である。

【0125】このように構成した系では、加速時にボイスコイルモーターの最高性能で駆動することにより、より高速なシーク動作を実現できる。また、第一、第二の実施例で述べた種類のフィードフォワード信号を用いる場合と、本実施例のように加速、減速別のフィードフォワード信号を切り替える場合をシーク距離に応じて選択することも容易である。

【0126】

【発明の効果】以上で説明したように、本発明によれば、シーク動作とフォロイング動作とで共通の閉ループ制御系を用いているので、制御モードの切り替えによる過渡応答を無くして、目標トラックへの速やかな位置決めが可能である。

【0127】また、シーク動作時に、ヘッド位置の目標軌道とフィードフォワード信号を閉ループ制御系に入力し、かつ、フィードフォワード信号は装置の機構要素の振動を防止する特性を持ち、また、シーク動作開始位置からの連続したヘッド位置検出信号をフィードバック信号とすることにより、ヘッドの運動は所定の軌道に高精度に追従して、残留振動を生じること無く、目標トラックへの速やかな位置決めが可能である。

【0128】また、過渡応答や残留振動を抑制できるので、トラックピッチの狭小化により、高記録密度化が可能である。

【0129】また、人間の可聴周波数域の振動を抑制することにより、シーク動作時の騒音を低減することもできる。

【0130】さらに、ヘッドが振動しないので、ヘッド・ディスク間を接近させて、高記録密度化が可能である。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第一の実施例を示すハードウェア構成図である。

【図 2】本発明のヘッド位置誤差信号を示す図である。

【図 3】本発明の線形位置誤差信号を示す図である。

【図 4】本発明の第一の実施例を示すブロック線図である。

【図 5】制御対象の物理モデルを示す図である。

【図 6】本発明の外乱推定手段の原理を示す図である。

【図 7】本発明の外乱推定手段の構成を示す図である。

【図 8】本発明の外乱推定手段の構成を示す図である。

【図 9】本発明の制御アルゴリズムの全体を示す流れ図である。

【図 10】本発明のヘッド位置検出の手順を示す流れ図である。

【図 11】本発明の目標軌道計算の手順を示す流れ図である。

【図 12】本発明の閉ループ補償手段の演算手順を示す流れ図である。

【図 13】本発明の操作量出力の手順を示す流れ図である。

【図 14】本発明の目標軌道計算の手順を示す流れ図である。

【図 15】本発明の閉ループ補償手段の演算手順を示す流れ図である。

【図 16】本発明のシーク動作終了判定の手順を示す流れ図である。

【図 17】本発明の第一の実施例の外乱推定手段の出力値の時間波形である。

【図 18】本発明の第一の実施例のシーク動作応答波形である。

【図 19】本発明の第一の実施例の目標位置軌道への追従誤差の時間波形である。

【図 20】本発明の第二の実施例を示すブロック線図である。

【図 21】本発明の第三の実施例の加速フィードフォ

ード信号と減速フィードフォワード信号の時間波形である。

【図 22】本発明の第三の実施例のフィードフォワード信号の時間波形である。

【図 23】本発明の第三の実施例の目標位置軌道の時間波形である。

【図 24】従来の磁気ディスク装置のヘッド速度の波形である。

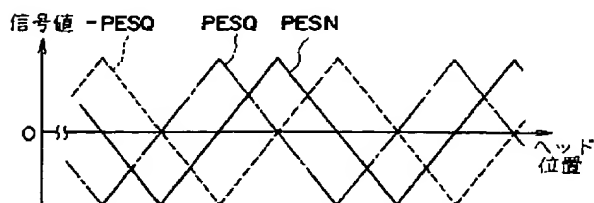
【図 25】従来の磁気ディスク装置のヘッド速度の時間波形である。

【図 26】従来の磁気ディスク装置のヘッド加速度の時間波形である。

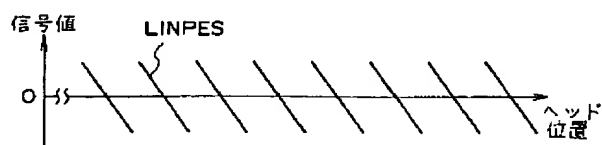
## 【符号の説明】

- 1 ヘッド・ディスク・アセンブリー (HDA)
- 10 ディスク
- 11 トラック
- 12 サーボエリア
- 13 スライダー
- 14 フレキシブル・プリント配線 (FPC)
- 15 ヘッドアーム
- 16 ボイス・コイル・モーター (VCM)
- 17 スピンドル軸
- 18 ピボット軸
- 20 ヘッドアンプ (AMP)
- 21 サーボ信号復調回路 (DEMOD)
- 22 VCM駆動アンプ (PA)
- 23 アナログ・フィルター
- 30 マイクロ・プロセッサ ( $\mu P$ )
- 31 ランダム・アクセス・メモリー (RAM)
- 32 リード・オンリー・メモリー (ROM)
- 33 ディスク制御回路 (CONT)
- 34 AD変換器 (AD1)
- 35 AD変換器 (AD2)
- 36 AD変換器 (AD3)
- 37 DA変換器 (DAC)
- 38 データ・バス (BUS)

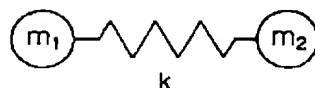
【図 2】



【図 3】

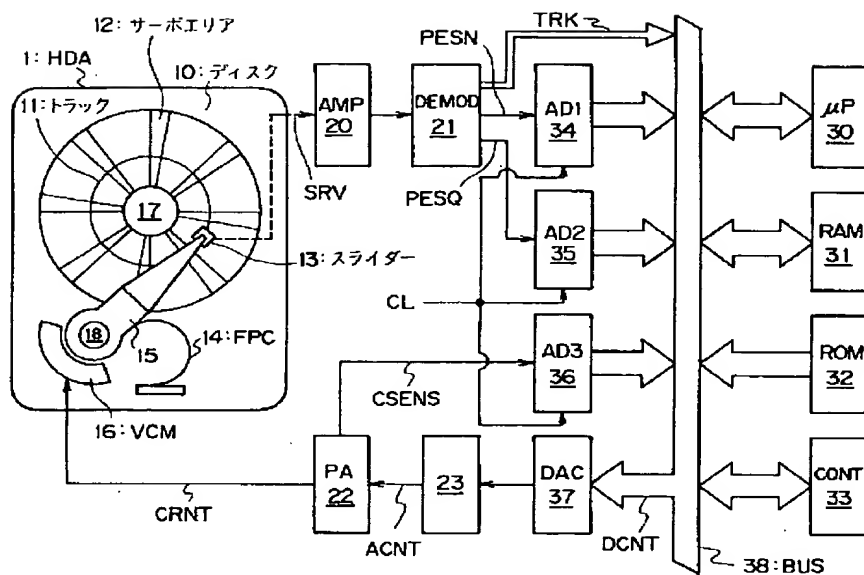


【図 5】

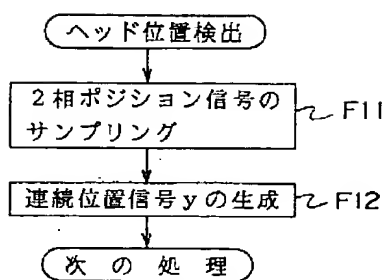




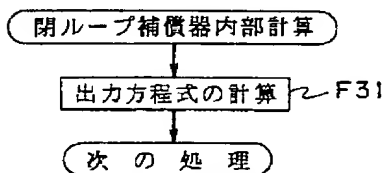
【図1】



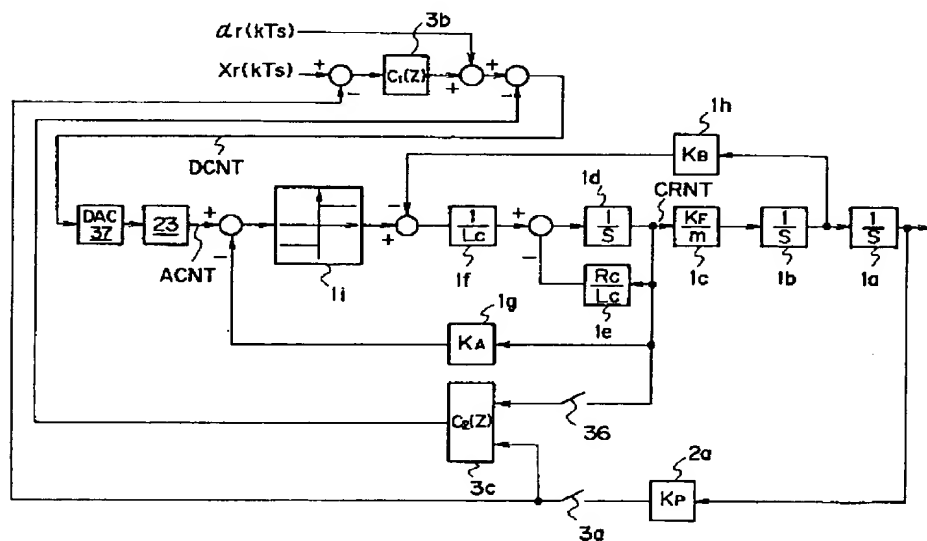
【図10】



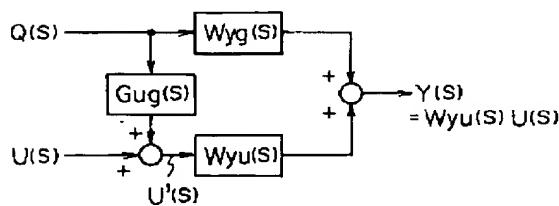
【図12】



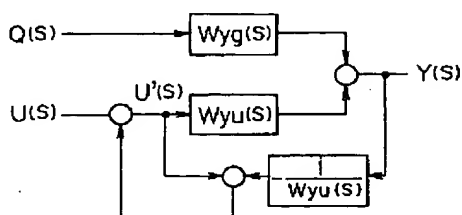
【図4】



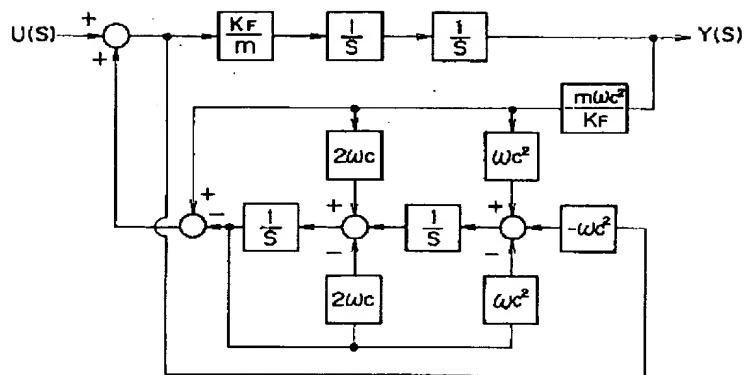
【図6】



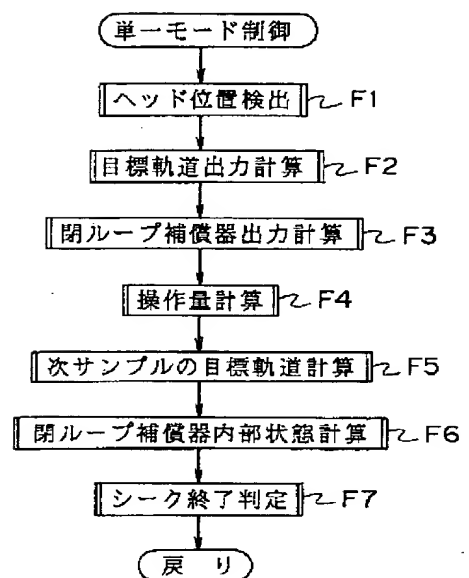
【図7】



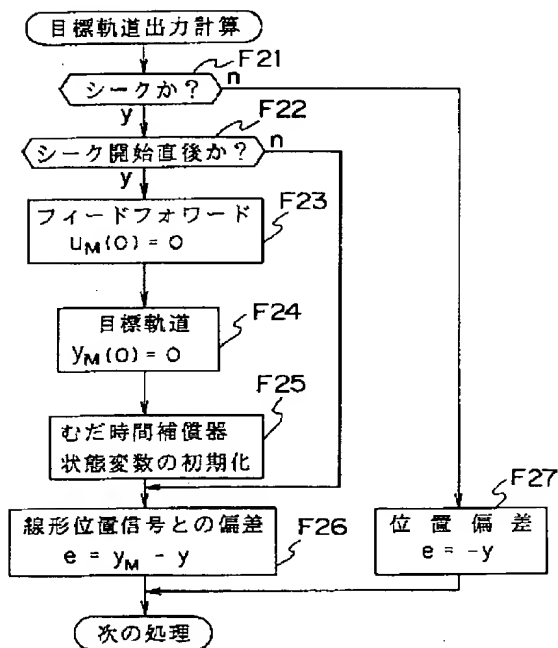
【図 8】



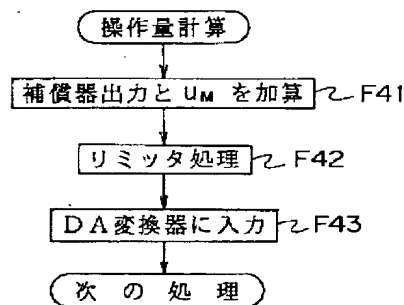
【図 9】



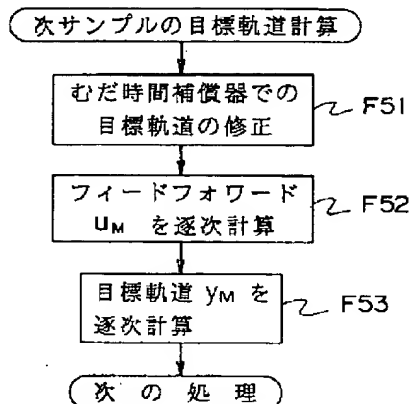
【図 11】



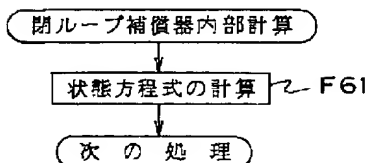
【図 13】



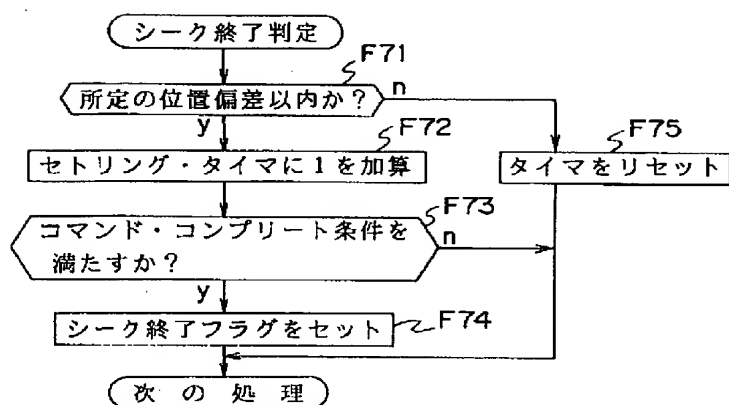
【図 14】



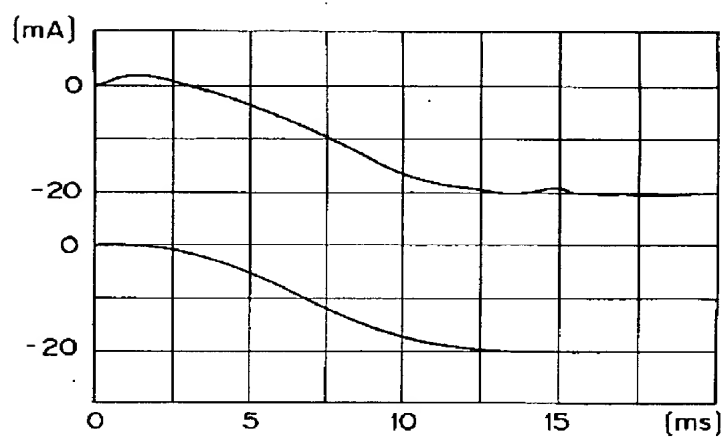
【図 15】



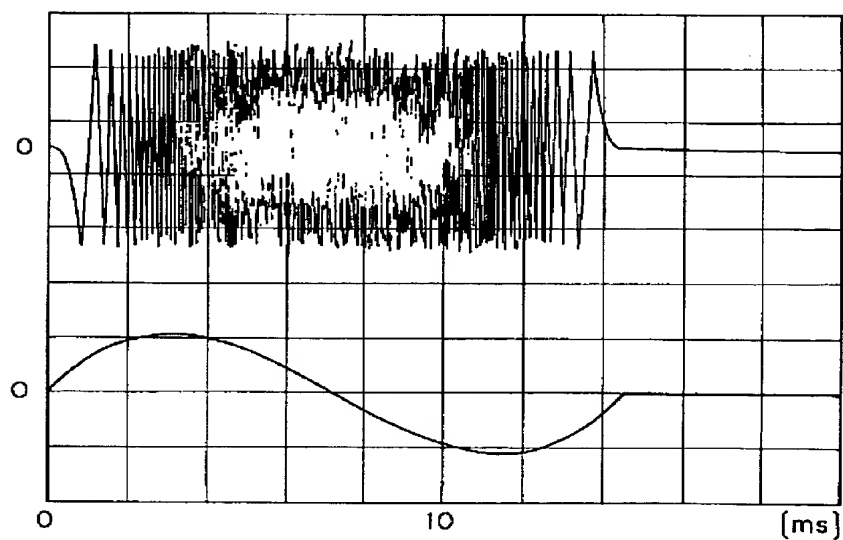
【図16】



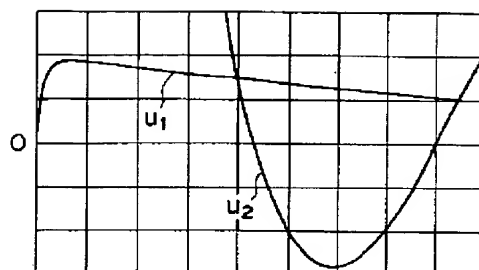
【図17】



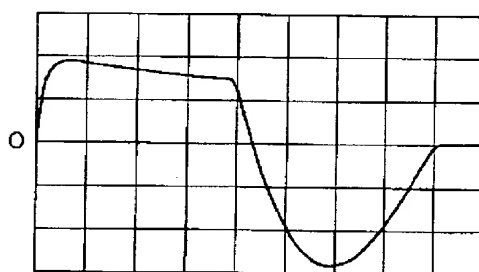
【図18】



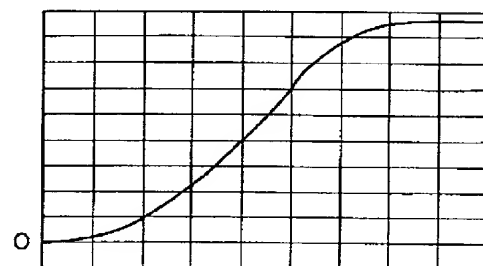
【図21】



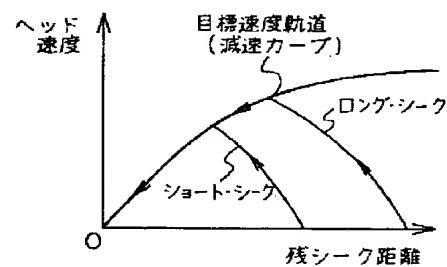
【図22】



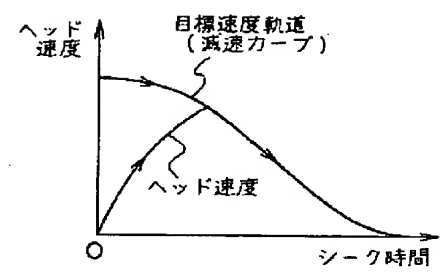
【図23】



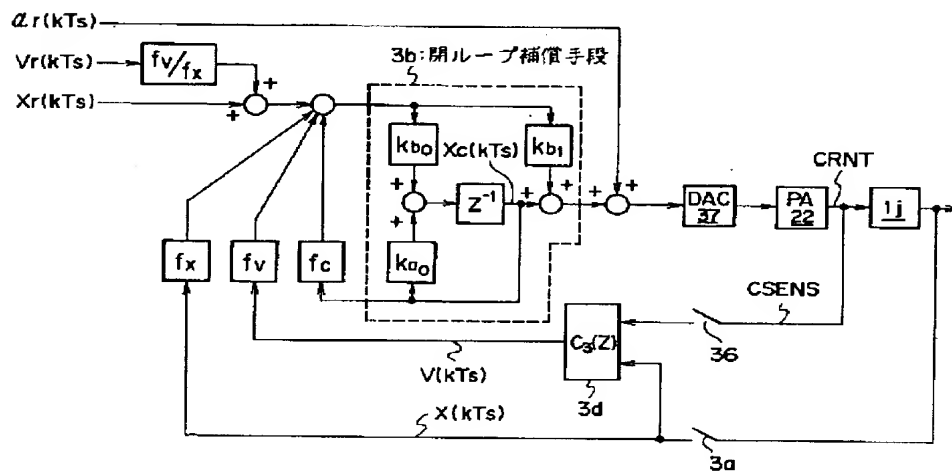
【図24】



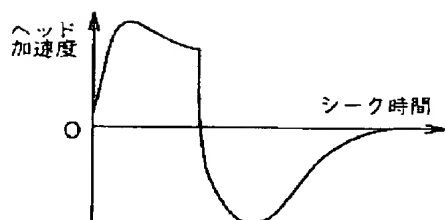
【図 25】



【图 20】



【图 2 6】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**